

Розробка харчового антиоксидантного комплексу рослинного походження

**О. В. Білоус, Н. С. Ситнік, С. І. Бухкало, В. І. Глухих, Г. О. Сабадош,
В. О. Натаров, Н. А. Ярмиш, С. Й. Захарків, Т. П. Кравченко, В. С. Мазаєва**

Розроблено антиоксидантний комплекс для використання в оліях, жирах та продуктах харчування, що потребують збагачення біологічно активними речовинами рослинного походження. Досліджено раціональні умови одержання водно-етанольних екстрактів із рослинної сировини: кори дубу, листя евкаліпту та листя зеленого чаю. Отримано антиоксидант, що здатен запобігати окисненню жирорічливих продуктів, зберігаючи їх високу поживну цінність. Антиоксидантні речовини природного походження дозволяють створювати збалансовані за складом продукти з підвищеним строком придатності із збереженням початкового природного складу та структури компонентів. Також розроблений антиоксидант є додатковим джерелом речовин, що допомагають організму боротися з вільними радикалами, що утворюються внаслідок фізичних та психічних навантажень. До складу антиоксидантів рослинного походження входять антиоксидантні вітаміни (токоферолі та аскорбінова кислота), рослинні феноли та тиролові антиоксиданти (глутатіон, ліпоєва кислота), мікроелементи. Ці складові беруть участь у процесах гальмування окиснення. Також до таких антиоксидантів входять селен, цинк, фолати та інші речовини.

Для планування експериментальних досліджень для кожного виду рослинної сировини стосовно антиоксидантної активності виділених речовин використано повний факторний експеримент першого порядку.

Виявлено синергізм дії антиоксидантних речовин при одночасному використанні екстрактів з кори дубу, листя евкаліпта, листя зеленого чаю.

Розроблений антиоксидант підвищує період індукції модельної речовини (олії соняшникової) у 2,7 рази, тоді як під час використання антиоксидантів окремо з кожного виду рослин найкращий показник збільшення періоду індукції склав 1,9. Отже, розроблений антиоксидант здатен сприяти збереженню якості і безпечності жирорічливих продуктів харчування. Використання даного антиоксиданту може бути запропоновано для продуктів харчування людей, що потребують додаткового введення антиоксидантів та біологічно активних речовин до раціону харчування. Зокрема, це важливо для спортсменів.

Ключові слова: антиоксидант, вільні радикали, рослинна сировина, окиснення, біологічно активні речовини, період індукції, екстрагування

1. Вступ

Антиоксиданти є важливою складовою раціонального харчування. Ці речовини здатні сповільнювати процеси окиснення в ліпидорічливих продуктах та боротися з вільними радикалами, що утворюються в організмі.

Однією з важливих складових раціону є жировмісні продукти. Проблемаю використання цих компонентів є здатність до окиснювального та гідролітичного псування, внаслідок чого утворюються шкідливі для організму людини речовини – вільні радикали. Зважаючи на цей факт, існує важливе питання стосовно виробництва та вживання жировмісної продукції – запобігання процесам окиснювального псування та подовження строку придатності без утворення вільних радикалів. Існують особливі категорії людей, що потребують введення в раціон харчування продуктів, збагачених рослинними антиоксидантами, наприклад, спеціальне дієтичне харчування при різних хворобах, спортивне харчування. В умовах інтенсивних фізичних навантажень організм зазнає значних біохімічних змін. Одним із факторів, що лімітують працездатність людей, які пов'язані з фізичною діяльністю, є збільшений вміст вільних радикалів в організмі внаслідок інтенсивних навантажень. Також вільні радикали можуть потрапити до організму разом з продуктами харчування, що містять окиснені ліпіди [1, 2].

Сьогодні проблема захисту продуктів від вільних радикалів вирішується введенням антиоксидантів переважно синтетичного походження [3]. Синтетичні антиоксиданти мають меншу вартість, але з гігієнічної точки зору доцільно використовувати природні сполуки, одержані із рослин, які є біологічно цінними продуктами та не викликають токсичної дії на організм людини. Серед речовин, що входять до складу рослинної сировини, антиоксидантну дію виявляють токоферолі, сезамол, каротиноїди, фосфатиди, хлорофіл, фенольні та інші сполуки. Рослинні антиоксиданти здатні не лише захистити продукт від окиснення, а і зберегти біологічну цінність продукту, і, завдяки наявності ряду біологічно активних речовин, надавати ряд позитивних для здоров'я людини ефектів [4].

На даний час гострим постає питання якості та безпечності харчових продуктів, збереження їх властивостей, виробництво продукції з використанням натуральної сировини та складових, а також розробка продуктів з підвищеним вмістом екзогенних антиоксидантів. Тому розробка високоефективних рослинних антиоксидантів є актуальним науковим завданням, яке вирішує дане дослідження.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Процеси утворення вільних радикалів в організмі інтенсифікуються під час фізичних навантажень внаслідок швидкої зміни режимів та інтенсивності енергозабезпечення. Для боротьби з вільними радикалами в організмі є ферментні системи захисту, але в деяких випадках, зокрема, під час спортивної діяльності, необхідне введення екзогенних антиоксидантів [1, 2, 5].

Накопичення внаслідок інтенсивної м'язової роботи ендогенних токсичних продуктів метаболізму не тільки надає системний вплив на перебіг біохімічних процесів, але і є однією з основних причин зниження імунологічної реактивності у людини під час фізичних навантажень. Ендогенна інтоксикація також негативно впливає на процеси енергетичного забезпечення як на тканинному, так і на клітинному рівні. Відбувається порушення природного перебігу антиоксидантних процесів, внаслідок чого активуються процеси пероксидного окиснення. Це призводить до порушення мітохондріальної роботи, зниження резистентності до пошкоджень клітинних мембран та інших

структур, що сприяє зниженню функціональної активності стану життєво важливих органів і систем організму [5].

В роботі [6] показано виключно важливу роль антиоксидантів, що потрапляють з їжею, для організму людини. Антиоксиданти не тільки виконують певні функції у складі продуктів, але і приймають участь в обмінних процесах в організмі. Але при цьому немає конкретних даних про склад антиоксидантів, зокрема природних, для ефективного запобігання окиснювальних процесів в харчових продуктах.

Авторами [6] зазначено, що антиоксидантні препарати рослинного походження добре переносяться, володіють більш м'яким коригуючим впливом на організм людини, а також широким спектром регулюючих ефектів. Але в даному випадку не наведено наукових даних щодо використання рослинних антиоксидантів для олій та жирів, які є важливою складовою більшості продуктів харчування різного призначення та напрямлення.

Жири є одним із найважливіших інгредієнтів нормальної життєдіяльності організму. Під час зберігання та використання жири під дією кисню піддаються окиснювальному псуванню, що призводить до утворення речовин, шкідливих для здоров'я людини. У зв'язку з цим актуальним питанням є розробка способів захисту від окиснювальних процесів жирів, що вживаються як безпосередньо в їжу, так і використовуються у виробництві жировмісної продукції. Окиснення ліпідів є одним з основних факторів, що обмежують терміни зберігання багатьох харчових продуктів. Для гальмування процесів окиснення та подовження строку придатності продуктів використовують спеціальні речовини – антиоксиданти [8].

Природними жиророзчинними антиоксидантами є токофероли та токотрієноли. Для більшості продуктів доза внесення токоферолу (0,02–0,06) % є достатньою для забезпечення ефективної антиокиснювальної дії.

В даний час в харчових продуктах широко застосовуються антиоксиданти синтетичного походження: пропілгалат, бутилгідроксианізол (БОА), бутилгідрокситолуол (БОТ), трет-бутилгідроксінон (ТБГХ).

Пропілгалат (n-пропіловий ефір 3,4,5-триоксібензойної кислоти) є ефективним антиоксидантом, що застосовується для збільшення терміну придатності олій за умов дозування (100–200) мг/кг.

БОА та БОТ характеризуються властивістю витримувати високі температури, що застосовуються під час виробництва харчових продуктів, зокрема, під час випікання та жаріння у фритюрі. Але ці речовини проявляють досить низьку антиоксидантну ефективність в оліях.

ТБГХ є найбільш ефективним антиоксидантом для ненасичених рослинних олій, при цьому володіє рядом переваг. Але проблемою, пов'язаною з використанням ТБГХ, є рожевий колір, який може утворюватися за умов лужного рН, у присутності деяких білків або натрієвих солей [8].

За даними [8], синтетичні антиоксиданти є розповсюдженим засобом гальмування окиснювальних процесів в оліях та жирах, але вони мають ряд недоліків та особливості застосування. Отже розробка нових ефективних та безпечних антиоксидантів на рослинній основі для олій та жирів є вкрай важливим завданням.

У рослинній сировині міститься цілий ряд цінних антиоксидантних компонентів, важливе місце серед яких займають флавоноїди. Ефективність природних антиоксидантів у їжі та в організмі людини залежить від багатьох факторів, включаючи розчинність у воді або ліпідах, стабільність, матричні взаємодії та біодоступність [9]. Але при цьому немає даних щодо впливу таких антиоксидантів на показники окиснення олій та жирів.

В роботі [10] вивчено процеси інгібування окиснення ліпідів за допомогою різних рослинних екстрактів. Одержано дані щодо динаміки накопичення продуктів окиснення у часі та визначено раціональні концентрації: дигідрокверцетину (92 %) – 0,05 %; екстракту зеленого чаю – 0,15 %; екстракту виноградної кісточки – 0,05 та 0,1 %; екстракту розмарину – 0,15 %. Але не показано, яким чином ці антиоксиданти впливають на показники окиснення ліпідів за підвищених температур, що є суттєвим питанням, оскільки олії, жири та продукти на їх основі можуть піддаватися тепловій обробці, наприклад під час жаріння продукту.

Крім того, як свідчать результати роботи [11], перспективним ресурсом для одержання природних антиоксидантів, зокрема, флавоноїдів, а також цінним джерелом мінералів, є кора дубу. Показано високу ефективність екстракту кори дубу в процесі гальмування вільнорадикальних процесів, а також проаналізовано вміст фенольних сполук в корі дубу, який склав (7,2–8,4) мг/г. Але при цьому не наведено впливу екстрактів кори дубу на показники ступеня окиснення в оліях та жирах, зокрема, пероксидне число, яке безпосередньо відображає накопичення продуктів окиснення в зразку.

Як джерело екзогенних антиоксидантів також представляє інтерес листя евкаліпту, екстракти з якого володіють низкою оздоровчих ефектів на організм людини. Листя евкаліпту містять до 3 % ефірної олії, головним компонентом якої є цинеол. В листях виділено також евкаліптон. Відома гіпоглікемічна, антидіабетична дія екстрактів з листя евкаліпту. Визначено протибільові та протизапальні властивості екстрактів з листя евкаліпту. Еукалробузон С, виділений з листя евкаліпту, володіє вираженими протипухлинними властивостями [12]. Також авторами [13] відзначено, що екстракти та ефірні олії з листя евкаліпта є ефективними проти окиснювального стресу в організмі, оскільки містять полісахариди, які забезпечують гальмування вільнорадикальних процесів. В роботі [14] експериментально підтверджено високу антиоксидантну дію ацетонового, етанольного та метанольного екстрактів з листя евкаліпта проти пероксидного окиснення в клітинах. Отже, листя евкаліпту є перспективною сировиною з точки зору їх використання як джерела антиоксидантів, але дослідження в роботах [12–14] слід було б доповнити даними щодо впливу екстрактів листя евкаліпту на пероксидне окиснення та встановити, яким чином від такого антиоксиданту залежать значення пероксидного числа олії у часі.

Одним із найбільш розповсюджених видів сировини для одержання природних антиоксидантів є зелений чай. Так, авторами [15] показано перспективність застосування фракції антоціанів із зеленого чаю як заміника синтетичних антиоксидантів у рослинних оліях. Досліджено вплив цього рослинного антиоксиданту на пероксидне число ріпакової олії після трьох місяців зберігання, в результаті чого пероксидне число олії з додаванням розробленого антиоксидан-

ту виявилось нижчим у 12,6 разів у порівнянні з початковою олією. В цьому питанні недостатньо даних щодо ефективності антиоксидантів із зеленого чаю в умовах дії підвищених температур. Крім того, представляє інтерес використання такого антиоксиданту для соняшникової олії, яка є найбільш розповсюдженим та уживаним видом олії.

В роботі [16] досліджено застосування зеленого, білого та чорного чаю як компонентів пробіотичного йогурту. У йогурті із зеленого чаю виявлено найвищий вміст фенолів. Зелений чай також застосовують для подовження терміну придатності м'ясних виробів, при цьому високу ефективність виявляє порошок зеленого чаю у кількості 0,5 % та екстракт зеленого чаю у кількості 0,03 % [17]. Це дозволяє зробити висновок, що зелений чай є перспективною сировиною для одержання антиоксидантів, але їх ефективність слід було б перевірити на індивідуальних оліях, використання яких надасть змогу оцінити активність антиоксидантів проти вільнорадикальних процесів окиснення.

Також відомим видом сировини для одержання речовин-антиоксидантів є кора дубу. В роботі [18] досліджено високу антиоксидантну та антибактеріальну дію екстракту кори дубу під час використання у виробництві йогуртів, сирів та морозива. Автором [19] показано перспективність та доцільність використання кори дубу як компоненту підсоложувачів з метою збагачення раціону харчування поліфенолами – речовинами, які володіють антирадикальною дією та сприяють зміцненню імунітету. Але при цьому не показано досліджень щодо дії антиоксидантів в оліях та жирах.

Таким чином, на підставі літературного огляду встановлено, що вивчення різних видів рослинної сировини стосовно вилучення антиоксидантних речовин є актуальним направленням сучасного розвитку харчової промисловості. Окремим вкрай важливим питанням є збагачення антиоксидантними речовинами окремих видів продуктів харчування, наприклад, для людей з підвищеними фізичними навантаженнями. Такі складові сприятимуть підвищенню працездатності та витривалості, запобіганню та профілактиці захворювань, зміцненню організму.

На даний час є недостатньою кількість даних щодо антиоксидантної дії цих речовин саме у складі чистих олій та жирів, які спричиняють процеси окиснювального та гідролітичного процесу у продуктах. Саме дослідження активності природних антиоксидантів по відношенню до олій та жирів є невирішеним питанням в цьому напрямленні, оскільки вони є важливими складовими як більшості харчових продуктів, так і клітин організму людини.

Отже, з метою розробки ефективних природних антиоксидантів для олій та жирів обрано три види рослинної сировини: листя зеленого чаю, кору дубу та листя евкаліпту. В якості модельної речовини для досліджень антиоксидантної дії екстрактів обрано олію соняшникову – найбільш розповсюджений та уживаний вид олії. Саме соняшникова олія була обрана як модельна речовина за рахунок високого вмісту поліненасичених жирних кислот. Поліненасичені жирні кислоти містяться і у складі клітинних мембран людини. Крім того, представляє інтерес дослідження синергізму дії антиоксидантів, виділених з різних видів сировини.

Таким чином, дослідження антиокиснювальних властивостей екстрактів рослин з використанням олії соняшникової є доцільними та нададуть можливість суттєво доповнити та розширити сучасні уявлення про антиоксидантні властивості екстрактивних речовин рослинного походження.

3. Мета та задачі дослідження

Метою досліджень була розробка рослинного антиоксиданту з комбінованим складом антиокиснювальних речовин для використання в жировмісних продуктах, зокрема – в продуктах спортивного харчування.

- підібрати рослинну сировину з високим вмістом та широким спектром антиоксидантних речовин;
- експериментально дослідити ефективність екстрактів-антиоксидантів з рослинної сировини за умов підвищених температур з використанням модельної речовини (олії соняшникової);
- визначити раціональні умови екстрагування речовин з антиоксидантною дією з використанням модельної речовини (олії соняшникової);
- дослідити синергізм дії суміші антиоксидантів з обраних видів рослинної сировини.

4. Матеріали та методи дослідження розробки антиоксиданту для використання в спортивній практиці

4. 1. Досліджувані матеріали та обладнання, що використовувались в експерименті

В даному дослідженні використовувалися наступні реактиви та матеріали:

- кора дубу, листя чаю зеленого, листя евкаліпту прутовидного згідно чинної нормативної документації.
- олія соняшникова рафінована дезодорована виморожена марки П, згідно з ДСТУ 4492:2017;
- спирт етиловий ректифікований згідно з ДСТУ 4221:2003;
- вода дистильована згідно чинної нормативної документації;
- калій йодистий кваліфікації «о.с.ч.» згідно чинної нормативної документації;
- крохмаль розчинний згідно чинної нормативної документації;
- тіосульфат натрію згідно чинної нормативної документації;
- оцтова кислота згідно чинної нормативної документації;
- хлороформ згідно чинної нормативної документації.

4. 2. Методика одержання водно-етанольних екстрактів з рослинної сировини

Рослинну сировину, подрібнену до розміру часток 2 мм, вносять до колби, заливають розчинником, закривають пробкою, витримують за умов перемішування та заданої температури необхідний час.

Після закінчення екстракції екстракт фільтрують через складчастий фільтр та переливають до склянки з темним склом. Зберігають екстракт у прохолодному темному місці.

В готовому екстракті визначають масову частку сухих речовин. Для цього у фарфорову чашу зважують 2 г екстракту. Чаша поміщається до сушильної шафи, із температурою 105 °С, на 45 хвилин. Після цього чашу поміщають до ексикатору на 15 хв. Через 15 хв. проводять зважування з точністю до 0,001. Цикли висушування ведуть до тих пір, доки маса не стане постійною.

4. 3. Методика визначення стабільності до окиснення зразків олії соняшникової

Окиснювальну стабільність зразків соняшникової олії визначено за прискореним методом «активного кисню», який передбачає визначення періоду індукції за зміною пероксидного числа під час витримування олії за умов заданої температури. У скляні бюкси вносили по 10 г зразка олії, ставили в сушильну шафу, нагріту до заданої температури. Для визначення пероксидного числа із сушильної шафи відбирали відповідну бюксу. Значення періоду індукції олії соняшникової визначали графічно за кривими зростання пероксидних чисел.

Пероксидне число визначено за стандартною методикою згідно з ДСТУ 4350:2004.

4. 4. Планування експериментальних досліджень та обробка результатів

Для планування наукових досліджень та обробки одержаних результатів використано повний факторний експеримент першого порядку, розрахунок за якими виконано у середовищах Microsoft Office Excel 2003 (USA) та Stat Soft Statistica v6.0 (USA). Дослідження проводили при двократному повторенні.

5. Результати досліджень розробки антиоксиданту для спортсменів

5. 1. Дослідження ефективності екстрактів-антиоксидантів з рослинної сировини за умов підвищених температур

Попередньо для встановлення параметрів досліджень визначено приріст пероксидного числа олії за 1 год. для кожного виду дослідженої рослинної сировини за різних температур. Для дослідження використано два зразка екстрактів:

- 1 відповідає значенням параметрів екстрагування: температура екстрагування: 50 °С ; співвідношення кількості екстрагенту та рослинної сировини: 1:10; концентрація етанолу в екстрагенті: 30 %.

- 2 відповідає значенням параметрів екстрагування: температура екстрагування: 50 °С ; співвідношення кількості екстрагенту та рослинної сировини: 1:10; концентрація етанолу в екстрагенті: 70 %.

Дані наведено у табл. 1.

Таким чином, експериментально підтверджено інгібуючу здатність екстрактів обраної сировини за підвищених температур, в тому числі за 90 °С та 110 °С. Для досліджень ефективності одержаних рослинних антиоксидантів використано прискорене окиснення олії соняшникової за температури 110 °С. За цієї температури відбувається суттєве підвищення значень пероксидного числа, що дозволить оперативно відслідкувати інтенсивність окиснювальних процесів в модельній речовині та визначити відповідні періоди індукції. А як наслідок – оціни ефективність антиоксидантну для спортсменів.

Таблиця 1

Приріст пероксидного числа модельної речовини за 1 год. за різних температур

Зразок	Приріст ПЧ за 1 год., 1/2 О ммоль/кг		
	70 °С	90 °С	110 °С
Початкова олія	0,28	1,0	2,72
З екстрактом кори дубу			
Точка 1	0,20	0,64	2,13
Точка 2	0,28	0,52	2,05
З екстрактом листя евкаліпту			
Точка 1	0,25	0,57	2,14
Точка 2	0,25	0,64	2,18
З екстрактом зеленого чаю			
Точка 1	0,28	0,49	1,63
Точка 2	0,28	0,53	1,79

5. 2. Визначення раціональних умов екстрагування речовин з антиоксидантною дією

Сутність повного факторного експерименту першого порядку полягає в одночасному варіюванні усіх факторів при його проведенні по певному плану, отриманню математичної моделі у вигляді лінійного поліному та дослідженню останнього методами математичної статистики. Функцією відгуку був період індукції, визначений за зміною пероксидного числа під час дії підвищеної температури на дослідну модельну речовину – соняшникову олію.

Інтервали варіювання факторів:

x_1 – співвідношення кількості екстрагенту та рослинної сировини: від 1:10 до 1:5;

x_2 – концентрація етанолу в екстрагенті: від 30 до 70 %;

x_3 – температура екстрагування: від 50 °С до 75 °С.

Раціональні умови – це ті умови, при яких отримані екстракти мають найбільшу антиоксидантну силу. Найбільшу антиоксидантну силу мають екстракти, вміст інгібіторів окиснення в яких найбільший. При додаванні екстрактів, що мають найбільшу антиоксидантну силу до модельної речовини, швидкість окиснення її найменша. Це означає, що олія, яка має найменшу швидкість окиснення, є більш стабільною до окиснення.

Періоди індукції у всіх випадках визначено за температури 110 °С.

Період індукції олії в початковому вигляді (без додавання антиоксидантів) склав 160 хв. У всіх дослідях сумарна концентрація екстрактів-антиоксидантів в олії складала 0,02 % у перерахунку на суху речовину.

Раціональні умови екстрагування речовин з антиоксидантними властивостями із рослинної сировини визначено наступним чином.

У табл. 2–4 показано експериментальні і розрахункові значення функції відгуку – періоду індукції модельної речовини з додаванням екстрактів кори дубу, листя евкаліпту та листя зеленого чаю.

Таблиця 2

Експериментальні і розрахункові значення функції відгуку для екстрактів з кори дубу (хв.)

№	1	2	3	4	5	6	7	8
$y_{\text{експ.}}$	234,5	236	237,5	214	192	304	179	221
$y_{\text{розрах.}}$	234,4	236,1	237,6	214,1	191,9	303,9	178,9	221,1

Таблиця 3

Експериментальні і розрахункові значення функції відгуку для екстрактів з листа евкаліпту (хв.)

№	1	2	3	4	5	6	7	8
$y_{\text{експ.}}$	214	207,5	194	238,5	229,5	181,5	178,5	207
$y_{\text{розрах.}}$	213,3	208,2	193,3	237,8	230,2	180,8	179,2	207,7

Таблиця 4

Експериментальні і розрахункові значення функції відгуку для екстрактів з зеленого чаю (хв.)

№	1	2	3	4	5	6	7	8
$y_{\text{експ.}}$	288	295,5	303,5	290,5	342,5	306,5	327,5	289
$y_{\text{розрах.}}$	286	293,5	301,5	292,5	340,5	308,5	329,5	291

В результаті обробки одержаних даних розраховано регресійні залежності між періодом індукції модельної речовини та параметрами екстрагування для кожного виду рослинної сировини.

Оцінка значущості коефіцієнтів рівнянь регресії проводилася за критерієм Стюдента (табличне значення за умови рівня значущості 0,05 складає 2,31 [16]). Умовою значущості коефіцієнту є більше значення розрахованого коефіцієнту Стюдента, ніж табличне.

Розрахункові значення критерію Фішера склали:

- для кори дубу – 0,03;
- для листа евкаліпту – 0,511;
- для листа зеленого чаю – 4,613.

Табличне значення критерію Фішера для кожного випадку складає 5,32. Оскільки розрахункові значення критерію Фішера є меншими, ніж табличне, отримані рівняння адекватно описують досліджуваний процес.

Отримані рівняння регресії після розкодування мають наступний вигляд:

– для кори дубу:

$$y = 1544,125 - 6712,5 \cdot x_1 - 22,55 \cdot x_2 - 19,505 \cdot x_3 + 110,5 \cdot x_1 \cdot x_2 + 100 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,3295 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1,62 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3; \quad (1)$$

– для листа евкаліпту:

$$y = -70,323 + 1305,66 \cdot x_1 - 0,0684 \cdot x_2 + 4,98512 \cdot x_3 + 7,938 \cdot x_1 \cdot x_2 - 25,5008 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,0153 \cdot x_2 \cdot x_3; \quad (2)$$

— для листя зеленого чаю:

$$y = -23,625 + 1391,25 \cdot x_1 + 8,0875 \cdot x_2 + 6,385 \cdot x_3 - 37,875 \cdot x_1 \cdot x_2 - 28,4 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,1415 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,66 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3, \quad (3)$$

де x_1 — співвідношення рослинна сировина-розчинник, x_2 — об'ємна частка етилового спирту в екстрагенті, %; x_3 — температура екстрагування, °С.

За одержаними математичними моделями побудовано графічні залежності — поверхні відгуку та проєкції поверхонь відгуку. На рис. 1–3 показано проєкції поверхні відгуку, що відображають залежність періоду індукції соняшникової олії від параметрів екстрагування речовин з антиоксидантною дією із дослідних зразків рослинної сировини: концентрації етанолу та температури екстрагування. При цьому зафіксоване значення співвідношення рослинна сировина-розчинник (x_1) складає 0,1 (1:10).

Введення антиоксидантів має на меті збільшення періоду індукції. Чим більше значення періоду індукції, тим більш стабільним до окиснення є зразок. Але під час аналізування та вибору раціональних значень вхідних змінних також треба керуватись тим, наскільки період індукції зростає під час подальшого збільшення значень параметрів та чи є доцільним підвищення температури, концентрації спирту та співвідношення рослинної сировини до екстрагенту. Адекватність розробленої математичної моделі перевірено у межах встановленої області варіювання факторів.

Проаналізовано одержані дані щодо періодів індукції модельної речовини, математичні та графічні залежності та встановлено наступне.

У всіх дослідних точках за умов фіксування значення співвідношення рослинна сировина-розчинник (x_1) на рівні 0,1 (1:10) період індукції у випадках з додаванням екстрактів є більшим, ніж початкової модельної речовини (160 хв.).

Зміна параметрів екстрагування по-різному впливає на період індукції модельної речовини, а отже, і на антиоксиданту активність виділених речовин. Для кожного виду сировини також є особливості впливу параметрів екстрагування на ефективність речовин-антиоксидантів.

У всіх випадках найвищі значення періодів індукції спостерігається для листя зеленого чаю.

Підвищення температури екстрагування та концентрації етанолу призводить до зниження ефективності екстрактивних речовин з кори дубу. Співвідношення рослинної сировини та екстрагенту практично не впливає на цей показник. В цілому кора дубу виявила більшу ефективність стосовно антиоксидантної активності екстрактивних речовин, ніж листя евкаліпту.

На ефективність екстракту з кори дубу найбільш суттєво впливає температура екстрагування, в умовах дослідів найбільш ефективним використання ці-

єї сировини є за температури 50 °С (221,125 хв.). Найкращий результат показала концентрація етанолу 30 % (303,875 хв.).

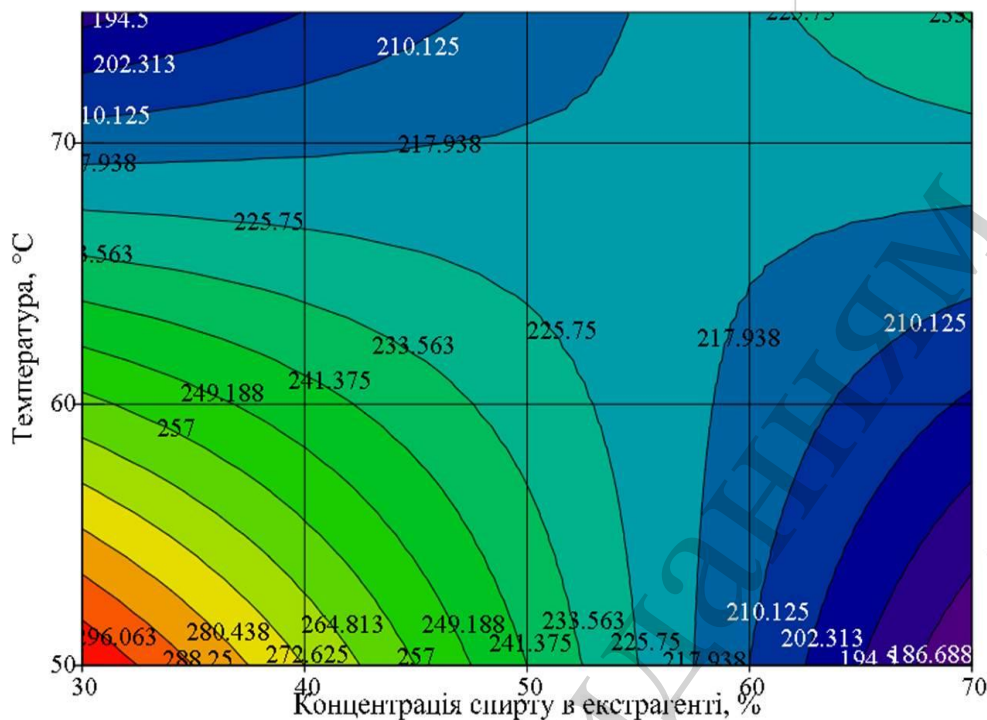


Рис. 1. Залежність періоду індукції соняшникової олії від параметрів екстрагування речовин з антиоксидантною дією із кори дуба: концентрації етанолу та температури екстрагування

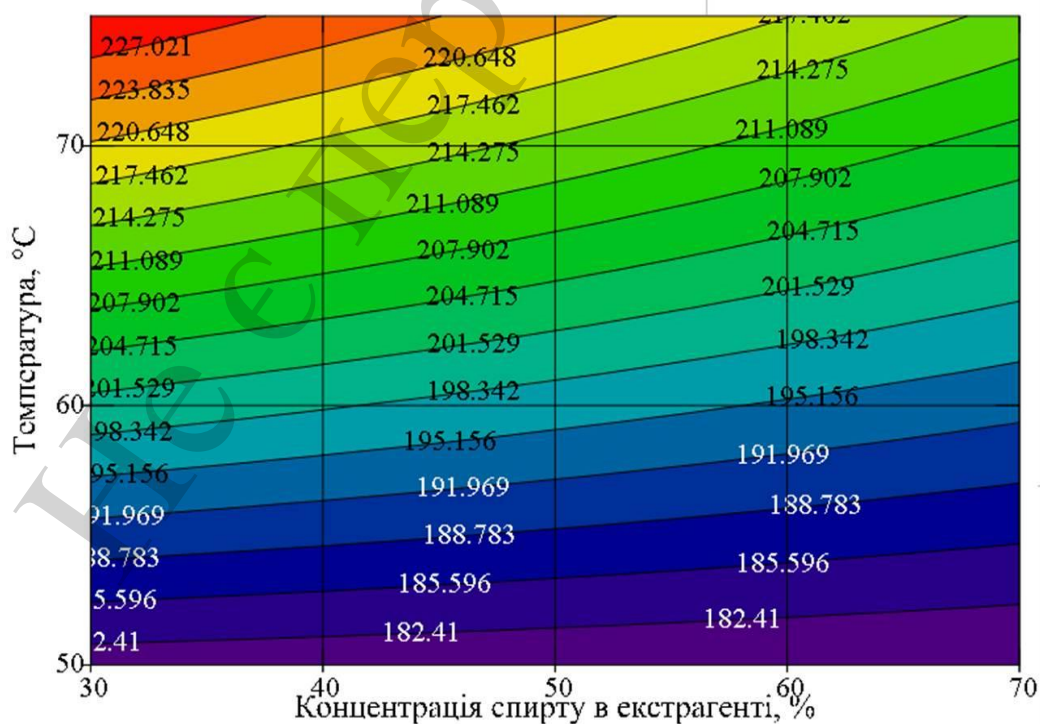


Рис. 2 Залежність періоду індукції соняшникової олії від параметрів екстрагування речовин з антиоксидантною дією із листя евкаліпту: концентрації етанолу та температури екстрагування

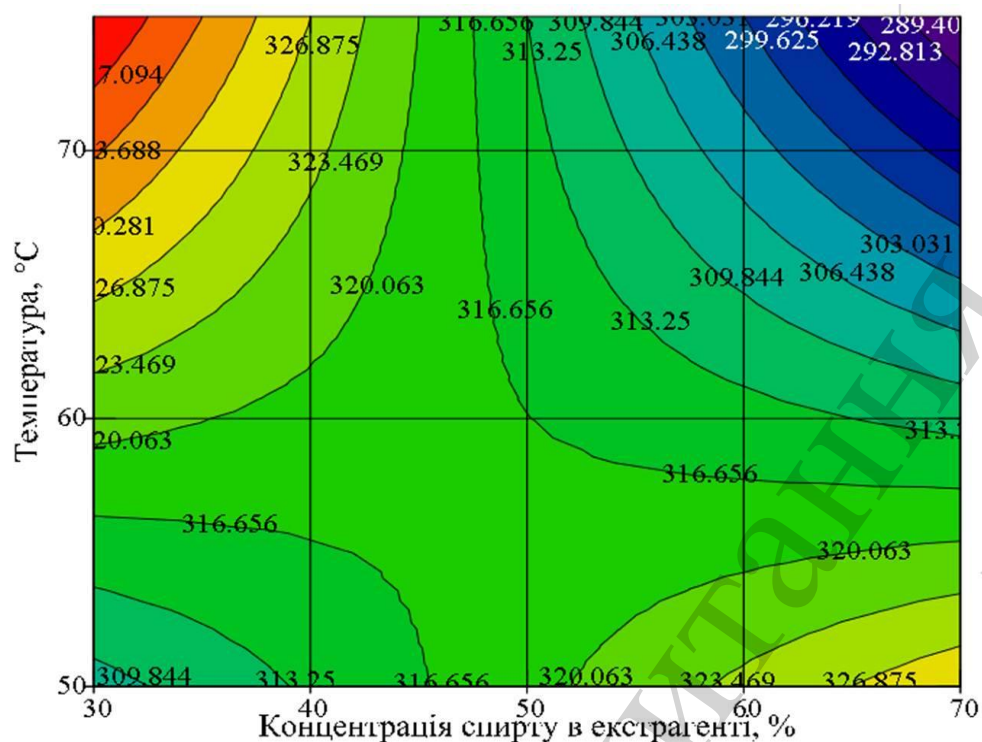


Рис. 3 Залежність періоду індукції соняшникової олії від параметрів екстрагування речовин з антиоксидантною дією із зеленого чаю: концентрації етанолу та температури екстрагування.

Для екстракту з листя евкаліпту ефективність збільшується за умов підвищення температури та зниження концентрації етанолу. Співвідношення листя евкаліпту та екстрагенту показало кращий результат за умов значення 1:10.

В цілому для листя зеленого чаю спостерігається підвищення періоду індукції під час підвищення параметрів екстрагування, але, з урахуванням інтенсивності зростання періоду індукції, оптимальні значення не є максимальними. На підставі аналізу графічних даних визначено зони раціональних значень параметрів екстрагування, які представлено в табл. 5.

Таблиця 5

Раціональні умови екстрагування речовин з антиоксидантними властивостями із рослинної сировини

Рослинна сировина	Раціональні умови		
	Співвідношення рослинна сировина-розчинник x_1	Об'ємна частка етилового спирту в екстрагенті x_2 , %	Температура екстрагування x_3 , °C
Кора дубу	1:10	30	50
Листя евкаліпту	1:10	30	60–70
Листя зеленого чаю	1:10	30–50	50–60

5. 3 Дослідження синергізму дії антиоксидантів з кори дубу, листя зеленого чаю та листя евкаліпту

Також було досліджено синергізм дії антиоксидантів з трьох дослідних видів рослинної сировини. Визначено період індукції модельної речовини за умов введення екстрактів з кори дубу, листя зеленого чаю та листя евкаліпту у співвідношенні (33:33:33) %. Загальний вміст цієї суміші в модельній речовині склав, як і в попередніх дослідженнях, 0,02 % у перерахунку на суху речовину. Період індукції модельної речовини склав 425 хв., що у 2,7 рази перевищує період індукції модельної речовини без додавання антиоксиданту. Крім того, величина періоду індукції з додаванням всіх трьох екстрактів є вищою, ніж у випадку дії кожного з них окремо. Цей факт вказує на те, що суміш антиоксидантів володіє більш ефективною антиоксидантною дією.

6. Обговорення результатів розробки антиоксидантів для використання у спортивній практиці

В результаті досліджень розроблено антиоксиданти з рослинної сировини: кори дубу, листя евкаліпту, листя зеленого чаю. Виділені антиоксиданти є ефективними у гальмуванні процесів окиснення олії соняшникової як у індивідуальному вигляді, так і за умов одночасної дії. Таким чином, одержано антиоксидантний комплекс з комбінованим складом антиокиснювальних речовин. Розроблений антиоксидант у 2,7 рази підвищує період індукції олії соняшникової. Ліпідні компоненти є головним фактором, що обумовлюють строк придатності харчових продуктів. Використання такого антиоксиданту є доцільним не тільки в оліях, жирах, а і в продуктах, що містять ці складові. Введення рослинного антиоксидантного комплексу збагатить продукт біологічно активними компонентами та антиоксидантами, що є важливим у розробці продукції для зміцнення та збільшення витривалості організму.

Наприклад, використання такого антиоксидантного комплексу є актуальним під час розробки харчування для професійних спортсменів. Це пов'язано з утворенням вільних радикалів в організмі під час інтенсивних тренувань, а також потребою у швидкому відновленні організму в умовах психічних та фізичних навантажень. Одночасне введення екстракту з зеленого чаю, екстрактів з кори дубу та евкаліпту в рівних пропорціях дає синегетичний антиоксидантний ефект, при цьому можливо створювати продукти з сумішшю різних антиоксидантів, які є вкрай важливими компонентами раціонального спортивного харчування.

Дослідження показали високу антиоксидантну дію екстрактів на модельній речовині – соняшниковій олії. Цей вид олії є найбільш розповсюдженим та уживаним, а також є компонентом багатьох продуктів харчування, у тому числі для раціону певного призначення (дієтичного, спортивного, оздоровчого тощо).

У складі обраної сировини багато антиокислювальних речовин, що є розчинними у полярних середовищах, отже суміш води та етанолу є оптимальним екстрагентом для одержання речовин-антиоксидантів. Температура 50–60 °C інтенсифікує вилучення антиоксидантів звади активзації контакту розчинника з екстрактивними речовинами. Подальше підвищення температури недоцільне,

тому що вона вже починає частково впливати на структуру антиоксидантів, зменшуючи їх антиокиснювальну дію в подальшому використанні.

Переваги розробленого рослинного антиоксиданту досягаються завдяки якісному екстрагуванню антиокиснювальних речовин у складі сировини та синергізму між ними в готовому антиоксиданті.

Перевагами даного дослідження в порівнянні з аналогічними відомими є те, що використані для екстрагування рослини містять не тільки антиоксиданти, а й ряд біологічно активних речовин.

Розроблений антиоксидант рекомендується використовувати не тільки з ціллю збереження якості жировмісних продуктів харчування, а й як додаткове джерело екзогенних антиоксидантів.

В подальших дослідженнях розробленого антиоксиданту перспективним є долучання до його складу екстрактів з інших рослин та дослідження синергізму в більш широкому сенсі. Крім того, представляє інтерес використання рослинних антиоксидантів у гальмуванні окиснювального, гідролітичного та мікробіологічного псування продуктів харчування багатокomпонентного складу.

Розвиток даного дослідження може полягати в використанні даного антиоксиданту не тільки в продуктах харчування, а й розробці спеціальних дієтичних добавок до харчування з високим вмістом антиокиснювальних речовин.

7. Висновки

1. Для розробки харчового антиоксидантного комплексу досліджено наступну рослинну сировину з широким вмістом антиокиснювальних речовин: листя зеленого чаю, листя евкаліпту, кору дубу, які є цінними джерелами біологічно активних та антиоксидантних речовин. Обрану сировину вивчено з точки зору гальмування процесів окиснення модельної речовини – олії соняшникової, з використанням екстракту з кожного виду рослин, а також у вигляді суміші, тобто встановлено явище синергізму антиоксидантної дії.

2. Досліджено ефективність екстрактів-антиоксидантів з обраної сировини за температур 70 °C, 90 °C, 110 °C. За прирістом пероксидного числа модельної речовини (олії соняшникової) встановлено, що за всіх зазначених температур рослинні антиоксиданти виявляють високу ефективність, знижуючи значення пероксидних чисел у всіх дослідах.

3. Визначено характер впливу кожного параметру екстрагування на період індукції модельної речовини, а також встановлено раціональні умови екстрагування. Раціональне співвідношення рослинна сировина - розчинник для всіх видів сировини склало 1:10; об'ємна частка етилового спирту в екстрагенті для кори дубу - 30 %, листя евкаліпту та листя зеленого чаю - (30–50) %; температура екстрагування для кори дубу 50 °C, листя евкаліпту та листя зеленого чаю - (50–60) °C.

4. Серед зразків з додаванням рослинного антиоксиданту найбільшу антиоксидантну ефективність показала суміш антиоксидантів з трьох дослідних видів сировини. При введенні екстрактів з зеленого чаю, кори дубу та евкаліпту в рівній пропорції в кількості 0,02 % в перерахунку на суху речовину період індукції модельної речовини (олії соняшникової) збільшується у 2,7 разів у порівнянні з модельною речовиною без додавання антиоксидантів. Одержані екст-

ракти-антиоксиданти є цінним джерелом біологічно активних речовин, які виявляють стійкий антиокиснювальний ефект по відношенню до харчових продуктів та виявляють синергізм між собою. Це дозволить не тільки захищати жиrowмісні продукти від окиснення, а й додатково вводити в організм природні антиоксиданти.

Література

1. Holway, F. E., Spriet, L. L. (2011). Sport-specific nutrition: Practical strategies for team sports. *Journal of Sports Sciences*, 29 (sup1), S115–S125. doi: <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.605459>
2. Correia-Oliveira, C. R., Bertuzzi, R., Dal'Molin Kiss, M. A. P., Lima-Silva, A. E. (2013). Strategies of Dietary Carbohydrate Manipulation and Their Effects on Performance in Cycling Time Trials. *Sports Medicine*, 43 (8), 707–719. doi: <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0054-9>
3. Bartosz, G. (2013). Food oxidants and antioxidants. Chemical, biological, and functional properties. Boca Raton: CRC Press, 568. doi: <https://doi.org/10.1201/b15062>
4. Пилипенко, Т. В., Нилова, Л. П., Мехтиев, В. С., Науменко, Н. В. (2011). Актуальные вопросы управления качеством растительного масла. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*, 28, 183–188.
5. Цыган, В. Н., Скальный, А. В., Мокеева, Е. Г. (2012). Спорт. Иммунитет. Питание. СПб.: ЭЛБИ-СПб, 240.
6. Cömert, E. D., Gökmen, V. (2018). Evolution of food antioxidants as a core topic of food science for a century. *Food Research International*, 105, 76–93. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.056>
7. Аньшакова, В. В., Степанова, А. В., Уваров, Д. М. (2017). Комплексные пищевые добавки из возобновляемого сырья для специализированного питания спортсменов. *Food Processing: Techniques and Technology*, 44 (1), 5–10.
8. О'Брайен, Р. (2007). Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение. СПб.: Профессия, 752.
9. Brunetti, C., Di Ferdinando, M., Fini, A., Pollastri, S., Tattini, M. (2013). Flavonoids as Antioxidants and Developmental Regulators: Relative Significance in Plants and Humans. *International Journal of Molecular Sciences*, 14 (2), 3540–3555. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms14023540>
10. Токаев, Э. С., Манукьян, Г. Г. (2009). Сравнительная характеристика антиоксидантной активности растительных экстрактов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 9, 36–38.
11. Skrypnik, L., Grigorev, N., Michailov, D., Antipina, M., Danilova, M., Pungin, A. (2019). Comparative study on radical scavenging activity and phenolic compounds content in water bark extracts of alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), oak (*Quercus robur* L.) and pine (*Pinus sylvestris* L.). *European Journal of Wood and Wood Products*, 77 (5), 879–890. doi: <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01446-3>

12. Жалилов, Н. А., Кароматов, И. Д. (2017). Лечебные свойства растения эвкалипт. Электронный научный журнал «Биология и интегративная медицина», 11, 81–92.
13. Haddad, M., Zein, S., Shahrour, H., Hamadeh, K., Karaki, N., Kanaan, H. (2017). Antioxidant activity of water-soluble polysaccharide extracted from Eucalyptus cultivated in Lebanon. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7 (2), 157–160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2016.11.024>
14. González-Burgos, E., Liaudanskas, M., Viškelis, J., Žvikas, V., Janulis, V., Gómez-Serranillos, M. P. (2018). Antioxidant activity, neuroprotective properties and bioactive constituents analysis of varying polarity extracts from Eucalyptus globulus leaves. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26 (4), 1293–1302. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.05.010>
15. Waheed, S., Hasnain, A., Ahmad, A. (2017). Evaluating the potential of botanical extracts and fractions as substitutes of chemical antioxidants in edible oils. *Pakistan Journal of Botany*, 50, 1999–2004.
16. Muniandy, P., Shori, A. B., Baba, A. S. (2016). Influence of green, white and black tea addition on the antioxidant activity of probiotic yogurt during refrigerated storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 8, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.02.002>
17. Ali, F., Abdel-Atty, N., Helmy, E. (2018). Improving the quality and extending the shelf life of chilled fresh sausages using natural additives and their extracts. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7 (6), 580–585. doi: <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2018.7.6.580-585>
18. Granato, D., Santos, J. S., Salem, R. D., Mortazavian, A. M., Rocha, R. S., Cruz, A. G. (2018). Effects of herbal extracts on quality traits of yogurts, cheeses, fermented milks, and ice creams: a technological perspective. *Current Opinion in Food Science*, 19, 1–7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.11.013>
19. Savescu, P. (2017). Comparative Study on the Effect of Sweeteners on the Oxidative Status of Green Tea and Black Tea. *Revista de chimie*, 68 (6), 1406–1412.